

# 国际工程项目费用风险量化评估与动态管控

朱明 全吉 黄剑眉 张水波

**内容提要** 针对国内工程企业在国际工程承包项目的投标和执行过程中辨识的风险难以量化、风险管控针对性差,以及主要风险点的量化跟踪管理的难题,本文提出一套针对工程企业的简单易行的,以费用为基础的量化风险、动态评估和跟踪管控的方法。

**关键词** 国际工程 风险量化 预备金 风险管理

目前,工程承包市场呈现出全球化的发展态势。一方面,世界许多国家处于经济建设的起步期,特别是在亚洲和非洲,因此有着大量基础设施建设的需求。另一方面,中国政府和国内金融机构加大了对“走出去”企业的支持力度,为其提供良好的政策和融资环境。与此同时,国内工程承包市场竞争的进一步加剧,使得走向国际工程承包领域成为国内许多工程企业的必然选择。但海外项目与国内项目相比,风险点多、风险大,不仅有内部风险,更多的是外部风险。目前,国内工程公司由于“走出去”的时间还不长,对国际工程项目的风险管控手段尚不完善,一般仅在投标过程中分专业对风险进行识别,填写风险

备忘录,并采用固定的风险金比例来覆盖项目风险;对各项风险未能进行合理的量化评估,在项目执行过程中对风险的变化情况也缺乏跟踪管理。

由于缺乏科学的风险管理体系,未能合理评估风险、有效的跟踪和管理风险,因此中国工程公司在国际工程承包项目上遭遇了一些严重的工程问题。例如,在电力工程领域,中国工程企业在越南北部电站项目遭遇地质风险,由于基础处理费用的大幅攀升造成项目工期延误和项目亏损;在印尼电站项目出现当地合作分包队伍的管理风险,由于其能力和管理水平的限制,造成工期的大幅延误;在菲律宾电站项目出现质量风险,由于工程质量未满足合同考核要求,造成工期的延误和高额的性能罚款;在柬埔寨水电站项目出现地质和施工过程控制风险,项目投运过程中,一部分坝体开裂,造成人员伤亡和工期

及费用损失。

对一个工程企业而言,完善的风险管理体系为工程决策提供科学依据,是提高项目成功率的有效工具。开拓国际工程市场,承揽国际工程项目,必须要有一套风险管理体系协助企业进行决策,并且在项目执行过程中做好风险管理工作,只有这样才能在激烈的国际市场竞争中保证应有的利润。可以说,海外工程的风险管理问题已成为制约中国工程企业能否成功“走出去”的最关键的问题。

针对企业对国际工程风险管控的现状和实际需求,本文提出了一套专门针对工程企业的简单易行的风险评估和管控方法,可以为投标阶段的风险量化评估及风险预备金的测算提供方法,为项目的投标决策提供依据,在项目执行阶段还可以对各风险项及风险金的使用情况进行动态监控,以辅助工程公司国际市场的



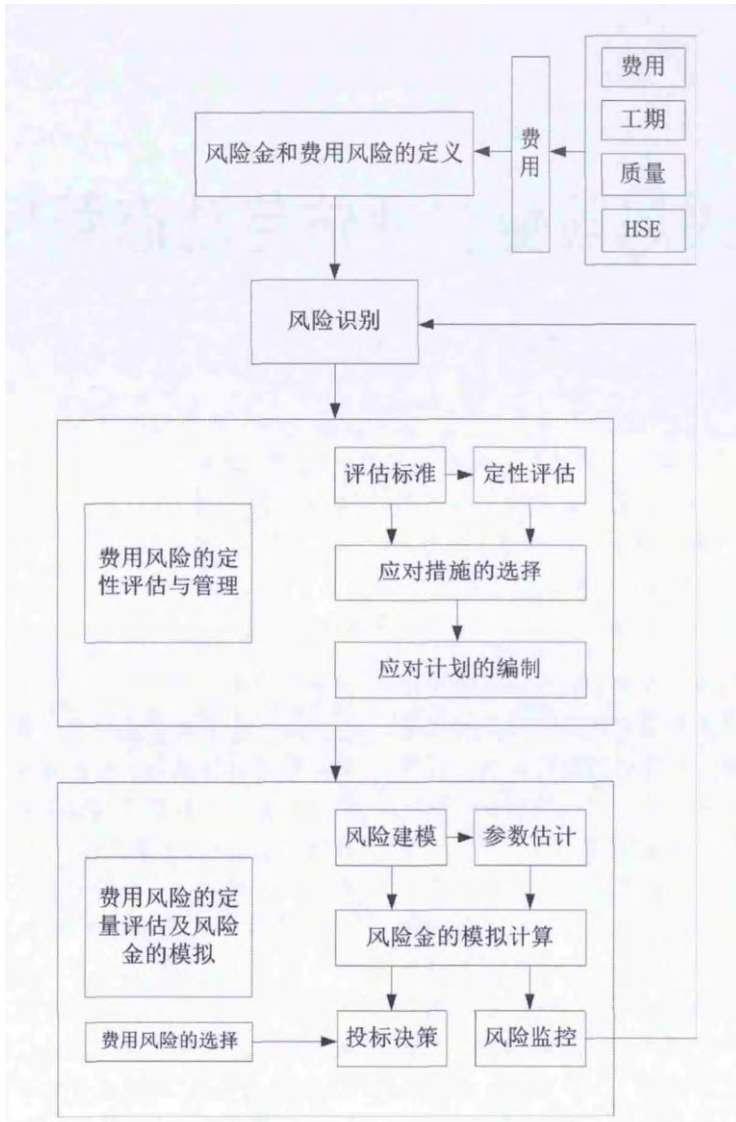


图 1: 研究思路和管理的实施流程

开拓, 并提高执行国际工程项目的抗风险能力。

### 一、风险金概念与测算

工程项目中经常提到的风险金是指承包商应对非预期的事件或弥补非预期的事件发生后产生损失的费用。这种说法在工程实践中较好理解, 也可以用来作为粗略估算此项费用的依据。

国内外学者对工程项目中风险

金的预测与模拟进行了一定的研究。有的专家从业主投资的视角, 建立了中国水电工程风险金的计算方法, 并通过对国内若干水电工程投资数据的统计分析, 总结了其中存在的数值统计规律, 以改进风险金的计算精度。有的学者利用专家对中石油管道类工程风险的定性评估数据, 采用遗传算法和人工神经网络对工程投标报价的风险金进行测算, 并

检验了模型的预测精度。有的专家以中石化伊朗项目为例, 提出了项目投标阶段建立风险金的管理思想, 以及项目执行阶段对风险金的监控制度。有的专家提出了一种工程项目投标阶段的费用风险评价方法, 可以基于风险因素直接分析成本波动情况, 解决模拟缺乏必要工程数据的困难。有的专家从总承包商的角度, 分析了水电 EPC 项目 (Engineering Procurement Construction) 影响成本变动的主要风险因素, 建立了综合物价、利率、自然条件和工程技术、业主资信等不确定因素影响下的总承包商工程成本费用模型, 并采用蒙特卡洛方法定量模拟了各种不确定性下总承包商的费用变化规律。有的专家对固定总价下的 DB (Design-build) 工程项目的风险做了定量分析, 提出了基于工期和成本的风险分析模型, 并通过蒙特卡洛方法模拟了风险项对成本的影响。有的专家通过构建基于承包商对风险的主观判断的模糊专家系统来对工程风险金进行预测, 并对预测的精度进行了实证分析。有的专家提出了一种改进的蒙特卡洛模拟方法, 在项目初期测算工程的预算分布, 此方法使用历史工程作为案例数据, 并通过对变量及其分布的假设进行检验, 以使结果更加贴近实际。

在现实中, 非预期的事件是否发生和发生后的损失在某种程度上是随机的, 不仅与各种外部环境有关, 也与承包商自身的态度和采取的应对方法有关, 这也决定了风险金的分布应该和承包商的风险

风险后果分类		后果严重性分类					
		1	2	3	4	5	
费用超支		无关紧要的	较小的	中等的	重大的	灾难性的	
时间拖延		< ¥5万	¥5万 - 50万	¥50万 - 100万	¥100万 - 500万	> ¥500万	
质量(性能)差异		< 3天	3天 - 1周	1周 - 2周	2周 - 1月	> 1月	
HSE							
发生可能性分类	1	罕见的:概率<10% (10个项目中少于1个会发生或50年一遇)	低	低	低	中	中
	2	不太可能的:概率10%-20% (10-50年一遇)	低	低	中	中	高
	3	可能的:概率20%-50% (5-10年一遇)	低	中	中	高	高
	4	很可能的:概率50%-90% (1-5年一遇)	中	中	高	高	很高
	5	经常性的:概率>90% (1年可遇)	中	高	高	很高	极端

图 2: 风险定性评估标准

应对计划相对应,并且随着时间的推移和获取信息的增加而动态变化。上述研究均没有考虑承包商的自身应对行为及不同阶段风险金的动态变化特性,不能满足企业在项目执行中对风险的动态跟踪和对费用进行监控的需求。

## 二、本文对风险金的定义、研究思路和实施流程

对于任何国际工程承包项目,无论是工期、质量还是其他风险,通过商务合同列明其风险承担的方式,风险一旦发生最终均以费用增加的方式来表现。因此,本文在定量评估风险时统一用费用来进行描述。首先给出风险金和费用风险的定义,将某一时刻的风险金描述成一个随机变量。与上述研究方法不同的是,本文结合风险应对计划给出估算此随机变量概率分布的方法,此概率分布可以确定不同的费用能以多大的概率涵盖工程中的风险。估算风险金的过程也是制定风险应对计划的过程。

显然,在一定的范围内,覆盖

工程风险的概率越大,需要的风险金就越多。因此风险金是覆盖工程风险概率的一个增函数。特别是在在投标阶段,当风险金以  $1-\alpha$  的概率覆盖工程风险时(即承包商以概率  $\alpha$  承担风险,或者说承包商将有  $\alpha$  的概率费用会超支,在实际中可将  $\alpha$  设置成一个较小的数),设对应的风险金为  $R_\alpha$ 。此时有关系式:

$$P(C > C_0 + R_\alpha) = \alpha \quad (1)$$

其中,  $C$  为承包商完成整个工程实际发生的总成本(满足合同规定的工期和质量要求,如果不满足,需将工期和质量折算成费用)。由于风险因素的存在,它本质上是一个随机变量。 $C_0$  为工程预测成本(包括工程费和管理费等)。 $\alpha$  即为承包商承担的费用风险大小。我们需要在给定  $\alpha$  的情况下,估算出  $R_\alpha$ 。 $\alpha$  描述了承包商承担的费用风险大小。 $R_\alpha$  为在此风险大小下,需要的风险金。

## 三、费用风险的定性评估与管理

费用风险评估需关注各风险

点对承包商工程费用产生的影响。在分析时,需将风险细化到具体可能发生的风险事件进行分析。对于风险事件,描述其风险大小的维度主要有两维:一是风险事件发生的可能性,二是后果的严重性。对于后果的严重性,在定性评估时,可以先具体到费用超支、时间拖延、质量(性能)差异、健康安全环境(HSE)问题等。

### (一) 风险事件的识别、分析与定性评估

针对具体的工程项目,在投标过程中通过召集各岗位专家,通过历史工程资料和专家经验识别出此项目可能发生的风险事件,并对其发生的原因、产生的后果做初步分析。为了使评估的过程更具操作性,这里参照某国际工程项目,制定了一个评估标准(仅供参考),此标准可根据项目类型做适当调整。此项目是位于越南境内的一个  $2 \times 600\text{Mw}$  的燃煤电厂项目,由笔者所在单位作为工程的总承包商,负责设计、采购、施工、调试及建设全过程的项目管理工作。

将风险事件发生的可能性分成五类:一类是罕见的(Rare),概率  $< 10\%$  (10个项目中少于1个会发生)或50年一遇;二类是不太可能的(Unlikely),概率为  $10\%-20\%$  或10到50年一遇;三类是可能的(Possible),概率为  $20\%-50\%$  或5到10年一遇;四类是很可能的(Likely),概率是  $50\%-90\%$  或1到5年一遇;五类是经常性的(Frequently),概率  $> 90\%$  或1年可遇。

将后果严重性也分成五类:

表 1:高级别风险定量分析表

序号	风险编号	风险描述	风险费最可能值 上: 风险储备费 下: 风险措施费	发生概率 估值 (%)	费用比例范围		
					Min (%)	ML (%)	Max (%)
极端级别 ("Extreme" Level):							
1	A-1					100%	
						100%	

一类是无关紧要的 (Insignificant), 费用超支 <5 万元人民币或时间拖延 <3 天; 二类是较小的 (Minor), 费用超支 5 -50 万元人民币或时间拖延 3 天至 1 周; 三类是中等的 (Moderate), 费用超支 50-100 万元人民币或时间拖延 1 周至 2 周; 四类是重大的 (Major), 费用超支 100-500 万元人民币或时间拖延 2 周至 1 个月; 五类是灾难性的 (Catastrophic), 费用超支 >500 万元人民币或时间拖延 >1 个月。对于质量差异和 HSE 问题, 这里不准备定义标准, 可将其转换成对费用和时间的影响后再归类。

根据发生可能性和后果严重性, 将最终对风险事件的评级分成五类: 低 (Low)、中 (Medium)、高 (High)、很高 (Very High) 和极端 (Extreme)。

按照上述评估标准, 对各风险事件发生的可能性及后果进行评级, 并由此得到此风险事件的评级结果。

(二) 风险应对措施的整理、选择及风险应对计划的编制

对于识别出的每一个风险, 根据上述定性评估出的级别高低, 召集各岗位专家, 采用头脑风暴法列出各种可能的应对措施。

应对措施包括事前和事后, 事前主要有规避、转移、缓和(采取一定手段来降低发生的概率或减轻发生后的损失)和自留(不采取措施, 发生后再应对)四种策略; 事后主要是如何行动来使已经发生的事件对项目的影响降到最低。在工程实践中, 对高级别的风险, 事前应对一般都有事半功倍的效果, 事后的方法只能作为最后的补救。对低级别的风险, 如果事前应对需要的费用比事后再处理还高, 也可采用自留的方法。

因此, 在选择每个风险的应对措施时, 需要根据风险的级别、应对措施的有效性(采取此措施后, 风险的评级会不会发生明显变化)、应对措施需要的费用来综合考虑。原则上, 高级别以上的风险事前都必须制定严格的风险应

对计划。风险应对计划需要反映出以下信息:

1. 事前信息(风险描述、可能后果描述、风险可能性和后果评级、风险评级等);

2. 风险应对信息(选择的具体应对措施和计划、责任人、应对措施费用估计、需达成的目标、执行时间、监控和报告的周期等);

3. 事后信息(残留风险描述、残留风险可能性和后果评级、风险评级、残留风险需要的风险预备费估计等)。

四、费用风险的定量评估及风险金的模拟

完成风险事件的定性评估和风险应对计划的编制后, 就可以对风险做更深入的定量分析, 可以借助一些商业化软件, 并采用蒙特卡洛仿真的方法来对风险金和费用风险做模拟估算。

(一) 风险事件的随机变量建模和参数估计

费用风险的大小取决于预留的风险金的多少。因此, 这里将把风险金作为最终要模拟的量, 用随机变量对其建模。对于每一个风险事件, 构成此事件的单项风

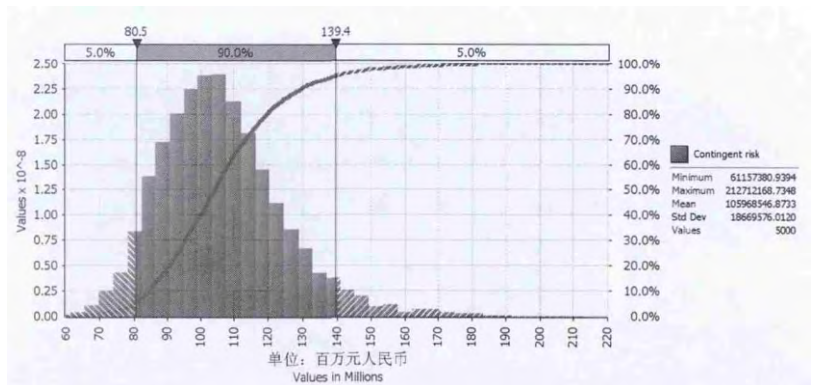


图 3: 整体风险金的密度曲线和累计概率曲线

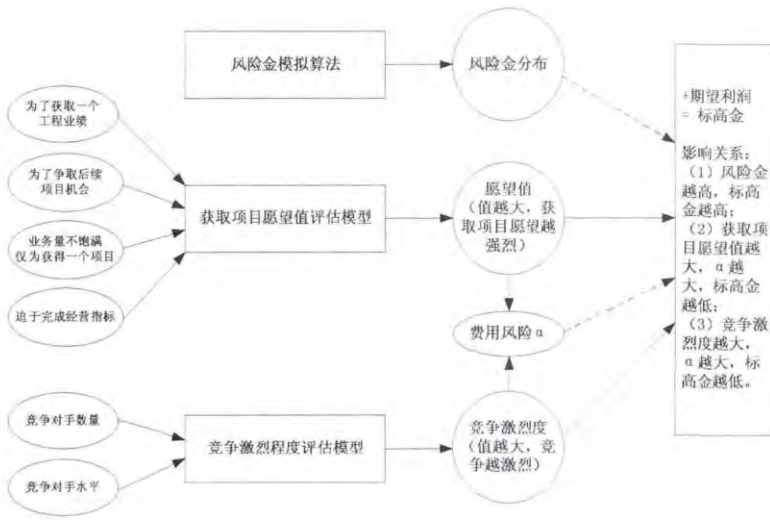


图 4: 费用风险  $\alpha$  的确定方法

分析时可按风险级别的高低进行。如表 1 所示, 每个风险事件占用两行, 下面一行登记事前应对的措施费估计, 对于事前采取的措施, 此笔费用发生的概率为 100%, 费用比例范围给出此项费用的最小值 (Min)、最可能值 (ML) 和最大值 (Max) 相对于最可能值的比例 (最可能值的比例固定为 100%); 上面一行登记事后风险应对费用和损失费用 (总称为风险储备费), 此项费用发生的概率介于 0 和 100% 之间, 费用比例范围和前面一样。需要注意的是, 对于事前采取有效措施

险金包括事前风险措施费、事后风险应对费和事后风险损失费三部分。事前风险措施费取决于事前采取的应对计划, 对于已识别出的高级别风险, 事前应对尤为重要。因此, 此项费用必然发生。对于低级别风险, 如果采取风险自留策略, 此项费用可能不发生。事后风险应对费和损失费同样取决于事前采取的应对计划, 如果事前处理的好, 风险没发生, 就不产生事后费用。因此, 对于各风险事件, 可用如下的几个随机变量来对此单项风险所需的风险金建模。

1. 事前风险措施费

此项费用取决于事前选取的具体应对措施, 在风险应对计划中有所反映, 为一个费用估计的区间。

2. 风险事件发生概率

风险事件发生的概率在某种程度上也取决于事前采取的应对措施, 在风险应对计划中对有残留风险发生概率的定性评估, 可

参照此评估值定量估计。对于事前没有采取应对计划的 (低级别风险), 可参照此风险事件的初始评估值定量估计。

3. 事后风险应对费和损失费

此项费用也取决于事前采取的应对措施, 在风险应对计划中, 有对残留风险需要的风险预备费用的估计, 为一个费用估计的区间。对于事前没有采取应对计划的 (低级别风险), 可参照此风险事件的初始评估值定量估计。

根据实践经验, 对于费用, 可以假设其服从三角分布, 此分布具有三个参数: 最小值、最可能值和最大值; 对于风险事件是否发生, 可以采用 0-1 分布 (二项分布的特例) 对其建模, 此分布具有两个参数:  $n$  和  $p$ 。参数  $n$  固定取 1,  $p$  为事件发生的概率估计。

针对具体工程, 根据上述对风险事件所需风险金的随机变量建模, 对高级别的风险事件定量分析, 分析时需结合风险应对计划进行, 以确定上述分布的参数。

表 2: 不同  $\alpha$  对应的风险金模拟结果

费用风险 $\alpha$	安全度	风险金 (单位 Y)
95%	5%	80,496,769
90%	10%	84,392,990
85%	15%	87,829,125
80%	20%	90,469,602
75%	25%	93,030,276
70%	30%	95,346,124
65%	35%	97,528,981
60%	40%	99,899,550
55%	45%	101,946,551
50%	50%	103,974,437
45%	55%	106,023,995
40%	60%	108,215,365
35%	65%	110,550,578
30%	70%	113,231,402
25%	75%	116,069,591
20%	80%	119,362,883
15%	85%	123,643,637
10%	90%	129,377,794
5%	95%	139,427,468

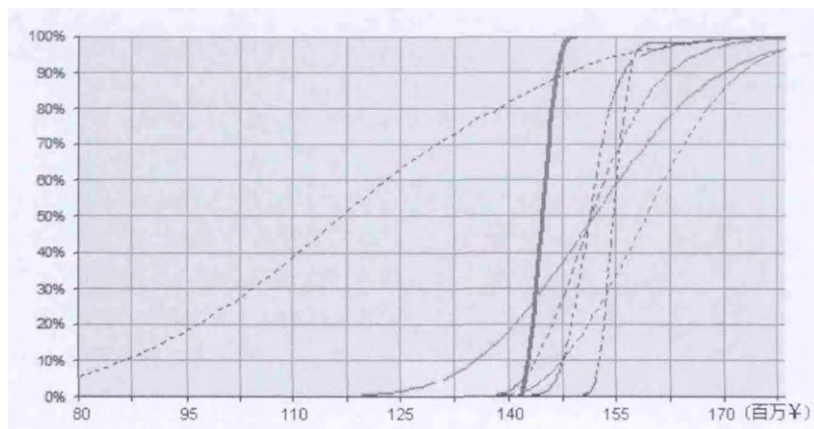


图 5:不同时期风险金的对比曲线

的,发生概率可能会显著降低。因此,此概率与前面估计的措施费是负相关的。对于较低级别的风险,由于损失较小,定量分析时无需逐个进行,可将其作为一项来估计。

### (二) 风险金的模拟计算

对于每一个风险事件,其风险金 = 事前风险措施费(若没采取事前措施,此项为零) + 事后风险应对费和损失费(若采取措施后风险未发生,此项为零)。模拟其风险金需要实现对此风险事件的事前风险措施费、采取措施后风险事件是否发生、事后风险应对费和损失费三个随机变量,根据其分布和参数的估计进行多次抽样试验。由于历史数据不足,为了简单操作,可假设这些变量都是独立的。通过模拟,即可得到项目整体风险金的分布。图 3 给出了通过上述方法模拟出的某国际工程项目投标阶段风险金的分布曲线(采取了 5000 次的随机抽样)。

### (三) 费用风险的选择及投标决策

在投标时,决策者可根据企

业获取此项目的愿望值、竞标此项目的激烈程度来确定自身承担的费用风险大小。

根据的取值,再借助风险金的分布曲线,即可确定风险金的大小。表 2 列出了针对此国际工程项目,不同费用风险(5-95%)对应的风险金大小,安全度是指加上此风险金后,与预算相比,费用不超支的可能性。

风险金加上期望利润,即可得到标高金,从而确定投标报价。

## 五、费用风险的动态监控与管理

项目部需要定期对风险登记表中的风险状态进行更新。关闭未发生的风险事件(可能产生了风险应对金);记录已发生的风险事件及其产生的风险应对费和损失费;补充新的风险事件,并如前所述对各风险事件进行随机变量建模,进行分布和参数估计,模拟出新的风险金分布曲线,以确定费用风险大小。随着项目的不断推进,获取的信息不断增多,对费用估计的区间也会越来越小(对于已发生的风险事件,费用已经

产生,理论上为一个确定的数)。因此,一般情况下随着时间的推移,风险金曲线也表现的逐渐变陡。不同时期一组可能的风险金的对比曲线可参见图 5 所示,其中横轴表示费用,纵轴表示此费用能覆盖风险的比例。

因此,这里提供了一套可用于项目执行全周期内对费用风险监控的方法,监控过程中,一方面可以更好地进行以费用为中心的风险管理,另一方面,也可以积累项目不同时期发生的风险事件的费用数据,以便为后续其他项目提供更准确的评估。

(作者单位:朱明,中国能源建设集团有限公司;全吉、黄剑眉,中国能源建设集团广东省电力设计研究院;张水波,天津大学管理与经济学部)

### 参考文献

强茂山、蔡航清、李国华:中国水电工程风险储备金计算方法研究,《水力发电》,2003 年第 3 期。

蔡航清、强茂山:水电工程投资风险储备金估算数学模型研究,《土木工程学报》,2006 年第 7 期。

王坚:基于 GA+BP 的工程报价风险金测算的模型研究,《石油工程建设》,2009 年第 1 期。

王秀云:国际总承包项目费用风险量化分析与管理,《国际经济合作》,2011 年第 2 期。

陈志勇、王坚:投标阶段报价风险评估方法研究,《石油工程建设》,2011 年第 3 期。

刘东海、宋洪兰:面向总承包商的水电 EPC 项目成本风险分析,《管理工程学报》,2012 年第 4 期。